



TITLE:

MoSi₂基複相単結晶合金の微細組織 と力学特性(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

松野下, 裕貴

CITATION:

松野下, 裕貴. MoSi₂基複相単結晶合金の微細組織と力学特性. 京都大学, 2016, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2016-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19707>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; 許諾条件により本文は2019-03-31に公開; 許諾条件により要約は2017-03-22に公開; 許諾条件により要旨は2016-06-22に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	松野下 裕貴
論文題目	MoSi ₂ 基複相単結晶合金の微細組織と力学特性		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、高融点金属間化合物 MoSi₂ を基軸材料とした MoSi₂/Mo₅Si₃ 共晶合金の一方向凝固材の微細組織と力学特性に及ぼす添加元素の影響について、最新の透過電子顕微鏡法を駆使して解析した界面微細構造ならびに結晶方位関係を格子ミスフィットの観点で議論した結果と、それらに基づいた当該合金の微細組織ならびに界面構造の制御による力学特性向上のための合金設計指針の提案と実証を行った結果を取りまとめたものであり、5 章からなっている。</p> <p>第 1 章は序論であり、本研究の研究背景および研究方針についてまとめられている。火力発電所などで用いられているガスタービンの熱効率向上にはタービン入口温度の上昇が有効であるが、飛躍的な高効率化のためには従来の Ni 基超合金に替わる新たな超高温耐熱材料の開発が不可欠となっている。その候補として研究対象である一方向凝固 MoSi₂/Mo₅Si₃ 共晶合金があるが、その実用化のためには、室温破壊靱性の向上ならびに高温強度特性のさらなる向上が必要とされている。MoSi₂/Mo₅Si₃ 共晶合金は特殊なスクリプトラメラ組織を有するため、その微細組織と界面特性の制御による力学特性の向上が期待できる。本研究は MoSi₂/Mo₅Si₃ 共晶合金の微細組織ならびに力学特性に及ぼす第三添加元素の影響を系統的に調査することで、当該合金の力学特性向上のための合金設計指針を得ることを目的とするものである。</p> <p>第 2 章では MoSi₂/Mo₅Si₃ 二相共晶合金の一方向凝固材における界面微細構造と格子ミスフィットの相関、第三元素添加による微細組織への影響に関する結果がまとめられている。一方向凝固 MoSi₂/Mo₅Si₃ 共晶合金の組織は成長速度や第三元素添加に依存して、均質なスクリプトラメラ組織からスクリプトラメラ組織部が粗大な境界部で囲まれたセル状凝固組織、等軸共晶組織へと微細組織が変化することが示されている。スクリプトラメラ組織中では凝固方向に平行な(110)_{MoSi₂} 断面で見られる凝固方向から約 15°傾いた界面の直線的な部分が周期的な Ledge-Terrace 構造で構成されており、このような界面が MoSi₂ 相と Mo₅Si₃ 相間の格子ミスフィットを緩和するために形成されることを明らかにしている。また、共晶合金への固溶限が比較的大きい元素は主に Mo₅Si₃ 相に分配されるため、これらの元素の添加量を制御することで格子ミスフィットの制御が可能であることを明らかにしている。また、共晶合金への固溶限が比較的小さい元素の添加では添加元素が MoSi₂/Mo₅Si₃ 界面に強く偏析することを示しており、それにより界面形状の湾曲が促進されることを明らかにしている。さらに一方向凝固中に形成された共晶組織は第三元素添加の種類によらず、非常に高い熱安定性を持つことを実証している。</p> <p>第 3 章では MoSi₂/Mo₅Si₃ 二相共晶合金への C 添加で新たに見出した、Mo₅Si₃C 相</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	松野下 裕貴
<p>を含む三相の微細で均質なスクリプトラメラ組織を持つ一方向凝固 $\text{MoSi}_2/\text{Mo}_5\text{Si}_3/\text{Mo}_5\text{Si}_3\text{C}$ 三相共晶合金について、三相合金の微細組織、格子ミスフィットと界面構造や結晶方位関係の関係を詳細に調査した結果がまとめられている。一方向凝固材中ではこれら三相間には一定の結晶方位関係が存在し、MoSi_2 相と Mo_5Si_3 相の結晶方位関係は $\text{MoSi}_2/\text{Mo}_5\text{Si}_3$ 二相共晶合金で観察されたものと同様であること、$\text{Mo}_5\text{Si}_3\text{C}$ 相は Mo_5Si_3 相との整合性が最も高い方位関係となるように形成されていること、観察される異相界面はいずれも格子ミスフィットが効率的に緩和されるものが優先的に選択されることを明らかにしている。また、$\text{MoSi}_2/\text{Mo}_5\text{Si}_3/\text{Mo}_5\text{Si}_3\text{C}$ 三相共晶合金の微細組織も $\text{MoSi}_2/\text{Mo}_5\text{Si}_3$ 二相共晶合金と同様に非常に高い熱安定性を持つことを実証している。</p> <p>第4章では $\text{MoSi}_2/\text{Mo}_5\text{Si}_3$ 二相共晶合金と $\text{MoSi}_2/\text{Mo}_5\text{Si}_3/\text{Mo}_5\text{Si}_3\text{C}$ 三相共晶合金の一方向凝固材についての力学特性評価を行い、その微細組織との相関についての考察を行っている。Vickers indentation 法による異相界面の剥離挙動評価により、格子ミスフィットを増加させるタイプの第三元素添加により界面剥離が促進されるとともに、破壊靱性値が向上することを明らかにした。また $\text{MoSi}_2/\text{Mo}_5\text{Si}_3/\text{Mo}_5\text{Si}_3\text{C}$ 三相合金では $\text{Mo}_5\text{Si}_3\text{C}$ 相の導入により新たに形成された異相界面のうち比較的整合性の低い $\text{MoSi}_2/\text{Mo}_5\text{Si}_3\text{C}$ 界面での界面剥離により、破壊靱性が向上することを見出している。これらの結果に基づき、界面剥離を利用した $\text{MoSi}_2/\text{Mo}_5\text{Si}_3$ 共晶合金の破壊靱性向上策を提案している。高温圧縮試験では共晶合金の降伏応力は同一結晶方位を有する MoSi_2 単相単結晶より著しく高く、Mo_5Si_3 相ならびに $\text{Mo}_5\text{Si}_3\text{C}$ 相との複相化が高温高強度化に非常に有効であることを実証している。また、変形挙動が荷重軸方位に強く依存することを見出し、透過電子顕微鏡法を駆使した変形組織解析により同定した活動すべり系に関する知見に基づいて塑性歪の適合性の観点から考察を行うことで、その異方性の原因について明らかにしている。さらに $\text{MoSi}_2/\text{Mo}_5\text{Si}_3$ 二相共晶合金の降伏応力は組織の微細化、Mo より原子半径の大きい元素の添加による MoSi_2 相の固溶強化、$\text{Mo}_5\text{Si}_3\text{C}$ 相の導入により顕著に上昇することを明らかにしている。なかでも $\text{MoSi}_2/\text{Mo}_5\text{Si}_3/\text{Mo}_5\text{Si}_3\text{C}$ 三相合金は特に優れた高温強度を有することを明らかにし、既存の Ni 基超合金を大きく上回る高温クリープ特性を得ることに成功している。</p> <p>第5章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、高融点金属間化合物 MoSi_2 を基軸材料とした $\text{MoSi}_2/\text{Mo}_5\text{Si}_3$ 共晶合金の一方向凝固材の微細組織と力学特性に及ぼす添加元素の影響について系統的に調査を行った結果を取りまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. $\text{MoSi}_2/\text{Mo}_5\text{Si}_3$ 二相共晶合金と $\text{MoSi}_2/\text{Mo}_5\text{Si}_3/\text{Mo}_5\text{Si}_3\text{C}$ 三相共晶合金の一方向凝固材が示すスクリプトラメラ組織について、最新の透過電子顕微鏡法を駆使した詳細な微細構造解析と組成分析を行い、構成相間の優先結晶方位関係ならびに異相界面の安定性が格子ミスフィットの観点で整理できることを明らかにした。
2. 当該合金の微細組織に及ぼす第三元素添加の影響を系統的に調査し、第三添加元素のうち共晶合金への固溶限が比較的大きい元素の添加により格子ミスフィットの制御が可能であること、固溶限が比較的小さい元素は $\text{MoSi}_2/\text{Mo}_5\text{Si}_3$ 界面に強く偏析し界面形状の湾曲が促進されることを明らかにした。さらに界面剥離挙動の調査により格子ミスフィットを増加させるタイプの第三元素添加により界面剥離が促進され、破壊靱性値が向上することを明らかにしたことは、当該合金の破壊靱性向上には格子ミスフィット制御が有効であることを示したものであり、実用的にも極めて有益な成果である。
3. $\text{MoSi}_2/\text{Mo}_5\text{Si}_3$ 二相共晶合金の力学特性に及ぼす第三元素添加の影響を調査した結果では、降伏強度が組織の微細化、Mo より原子半径の大きい元素の添加による MoSi_2 相の固溶強化、 $\text{Mo}_5\text{Si}_3\text{C}$ 相の導入により顕著に上昇することを明らかにした。なかでも $\text{MoSi}_2/\text{Mo}_5\text{Si}_3/\text{Mo}_5\text{Si}_3\text{C}$ 三相合金は特に優れた高温強度を有することを明らかにし、既存の Ni 基超合金を大きく上回る高温クリープ特性を得ることに成功したことは特筆すべき成果である。

以上のように本論文は、一方向凝固 $\text{MoSi}_2/\text{Mo}_5\text{Si}_3$ 共晶合金の界面構造や結晶方位関係と格子ミスフィットとの関係についての精緻な解析と、組織制御による特性向上のための合金設計指針を示したもので、学術的のみならず実用的にも高く評価できる。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 28 年 2 月 23 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規程第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、（平成 31 年 3 月 30 日までの間）当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。